



⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 43 08 194 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**G 05 B 13/00**  
G 05 B 19/05  
G 06 F 15/20

②① Aktenzeichen: P 43 08 194.0  
②② Anmeldetag: 15. 3. 93  
②③ Offenlegungstag: 22. 9. 94

DE 43 08 194 A 1

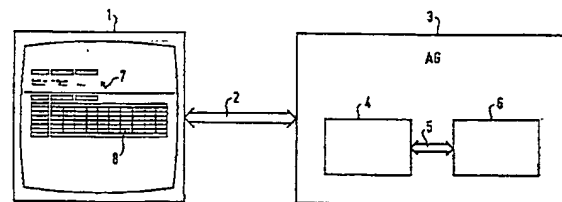
⑦① Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦② Erfinder:  
Wolf, Thomas, Dr.-Ing., 8551 Hemhofen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Fuzzy-Standard-Automatisierungssystem für industrielle Anlagen

⑤⑦ Automatisierungssystem mit programmierbaren Automatisierungsgeräten, insbesondere speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) zur Regelung einer industriellen Anlage, und mit zumindest einer Dateneingabe-, Rechen- und Projektierungseinheit, z. B. einem PC (1) zur Datengenerierung für Fuzzy-Standard-Systeme (FSS), wobei dieser ein fortlaufend optimierbares Fuzzy-Entwurfsprogramm aufweist, dem Zugehörigkeitsfunktionen in parametrierter Form eingebbar sind und wobei die Eingabe der Zugehörigkeitsfunktionen sowie von Bearbeitungsbefehlen und Parametern über Funktionstabellen in Bildform erfolgt und wobei in den Automatisierungsgeräten (3) in an die jeweiligen Gerätebedingungen angepaßten festen Ablaufprogrammen zur Regelgrößenbildung Fuzzy-Standard-Programme abgearbeitet werden.



DE 43 08 194 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 07. 94 408 038/74

9/34

BEST AVAILABLE COPY

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Automatisierungssystem mit programmierbaren Automatisierungsgeräten, insbesondere speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) zur Regelung einer industriellen Anlage und mit zumindest einer Dateneingabe-Rechen- und Projektierungseinheit, z. B. einem PC.

Automatisierungssysteme mit programmierbaren Automatisierungsgeräten zur Steuerung und Regelung von industriellen Anlagen sind in vielfältiger Ausgestaltung bekannt. Es ist weiterhin bekannt, derartige Systeme mit Fuzzy-Control-Einheiten in Hard- oder Softwareausführung zu versehen, die insbesondere PID-Regler ersetzen oder parallel arbeitend angeordnet sind. So ist eine Verbesserung der Anlagenregelung möglich.

Es ist Aufgabe der Erfindung, Automatisierungssysteme mit Fuzzy-Control-Einheiten und insbesondere einzelne Fuzzy-Komponenten, z. B. Fuzzy-Regler, einfacher und funktioneller projektieren zu können. Die Projektierung derartiger Systeme erfordert bisher sowohl eine eingehende Kenntnis der in der Anlage ablaufenden Prozesse als auch der Fuzzy-Technik, d. h. der Fuzzifizierung der Prozeßwissensdaten, der Defuzzifizierung und der Fuzzy-Inference-Logic. Erfindungsgemäß soll die Anwendung der Fuzzytechnik ohne Wissen über die Fuzzy-Theorie und ihre Anwendung erfolgen können. Darüber hinaus soll auch eine leichte Beobachtung und Optimierung der Funktion des Automatisierungssystems und der Fuzzy-Komponenten möglich sein, die Optimierung unter Umständen sogar selbsttätig. Der Anwender soll sich voll auf die Projektierung der Fuzzysysteme konzentrieren können und dabei lediglich sein Erfahrungswissen in einfachen Fuzzyregeln eingeben.

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß der PC zur Datengenerierung für Fuzzy-Standard-Systeme (FSS) ein fortlaufend optimierbares Fuzzy-Entwurfsprogramm aufweist, dem Zugehörigkeitsfunktionen in parametrierter Form einbaubar sind und wobei die Eingabe der Zugehörigkeitsfunktionen sowie von Bearbeitungsbefehlen und Parametern über Funktionstabellen in Bildform erfolgt und wobei in den Automatisierungsgeräten in an die jeweiligen Gerätebedingungen angepaßten, festen Ablaufprogrammen zur Regelgrößenbildung Fuzzy-Standardprogramme abgearbeitet werden.

Automatisierungsgeräte in Form von speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) mit Fuzzy-Softwarebausteinen auszurüsten, ist bereits bekannt. Eine vorteilhafte Ausführung beschreibt der Aufsatz "Fuzzy-Control mit Simatic 55" in der Zeitschrift Engineering und Automation 14 (1992) Heft 5, Seiten 12 und 13. Weitere Beispiele der Anwendung von Fuzzy-Control in Anlagen-Automatisierungssystemen sind aus dem Vortrag "Einsatz von Fuzzy-Control in der Verfahrenstechnik mit Teleperm M" von G. Linzenkirchner und S. Alender auf der Interkama/92 in Düsseldorf entnehmbar. In diesem Vortrag ist auch die Arbeit mit der Fuzzy-Control-Software, die Regelgenerierung und der interne Ablauf bei entsprechenden Automatisierungsgeräten näher erläutert. Insofern ist dieser Vortrag als Bestandteil der Offenbarung anzusehen und in Ablichtung ebenso wie der zitierte Aufsatz beigefügt. Ebenso wie in dem, in dem zitierten Aufsatz beschriebenen, Stand der Technik ist es aber auch hier noch notwendig, daß der Operator die Fuzzy-Technik und die internen Abläufe der Fuzzy-Inference-Vorgänge kennt und berücksichtigt. Die einzelnen Parameter werden in Listen eingegeben und dann über ebenfalls eingegebene Regeln verarbei-

tet. Bei den angegebenen Wertebereichen muß auf die Regeln Rücksicht genommen werden.

Demgegenüber wird mit den erfindungsgemäßen festen Ablaufprogrammen darauf verzichtet, Fuzzyoperatoren, Defuzzifizierungsmethoden und andere Eigenheiten der Fuzzy-Logic beeinflussen zu wollen. Der Anwender kann sich auf die Projektierung seines Fuzzysystems konzentrieren und sein Erfahrungswissen in Funktionstabellen eingeben, ohne sich Gedanken über Algorithmen und Rechenmethoden machen zu müssen. Weiterhin ist durch das Arbeiten mit Funktions-(Funktionen ausübende) Tabellen eine einfache Optimierung durch die Möglichkeit einer ständigen Beobachtung und On-line Funktionsänderung möglich. Neue Regeln und Parameter können einfach wirksam über die Funktionstabellen eingegeben und in bezug auf ihren Wahrheitsgehalt On-line oder auch zunächst Off-line, z. B. an einem Modell, beobachtet werden.

Die Funktionstabellen, die Optimierungsschaubilder etc. sind vorteilhaft in der Windows-Technik ausgebildet, um mit der Zeiger-Aufruftechnik für ein Menüsystem arbeiten zu können. So ergibt sich die vorteilhafte Möglichkeit weniger häufig benötigte Funktionen (Anzeigen) und z. B. die Fenster für Parametereinstellungen in Untermenüs unterzubringen. Das Windows-System ist allgemein bekannt.

Für das Testen eines Fuzzy-Projektes gibt es die Möglichkeit, Off-line mit Hilfe eines parametrierbaren Kurvengenerators das Verhalten an einzelnen Punkten einzustellen oder Dreieckfunktionen an die Eingänge zu schalten. Im entsprechenden Beobachtungsbild kann man dann das Zeitverhalten und die Wirksamkeiten der einzelnen Fuzzyregeln untersuchen.

Es ist dabei möglich, im On-line-Modus im gleichen Beobachtungsbild vorteilhaft das Verhalten des Fuzzysystems in der Hardware darzustellen. Über einen Zeitinterrupt werden dazu zyklisch die Daten aus der Hardware ausgelesen und in einem Meßwertarchiv gespeichert. In diesem Meßwertarchiv stehen immer z. B. die letzten 400 Auslesedaten zur Verfügung. Wenn man die Datenübertragung gestoppt hat, kann man auf diese Weise das Verhalten rückwirkend analysieren. Man kann auch eine Auswertelinie durch das Zeitdiagramm schieben und/oder vorteilhaft nur im unteren Bildteil die momentan wirksamen Fuzzyregeln anzeigen.

Die vorstehend geschilderte Vorgehensweise eignet sich besonders für die Optimierung einer Fuzzy-Control-Automatisierungseinheit durch einen Operator. Die Optimierung kann jedoch auch automatisch erfolgen, z. B. durch ein selbstlernendes künstliches neuronales Netz. Besonders geeignet für eine derartige Optimierung ist ein Neuro-Fuzzynetz, wie es z. B. aus dem Aufsatz "Direct Fuzzification of Neuronal Network and Fuzzified Delta Rule", 2. International Conference on Fuzzy-Logic, ISBN 4-938717-01-8 von Y. Hayashi, J. Buckley und E. Czogala bekannt ist. Dieser Aufsatz beschreibt beispielhaft eine direkte Fuzzifikation von neuronalen Netzen und ermöglicht so ein Optimieren ohne das Umsetzen der einzelnen Größen in diskrete Werte. Die Selbstlernfähigkeit eines solchen Netzes ermöglicht dabei eine Optimierung des Anlagenverhaltens, z. B. des Ausbringens, relativ einfach durch eine Annäherung des tatsächlichen Verhaltens an eine Sollkurve, z. B. nach der bekannten Methode der kleinsten Quadrate.

Die Erfindung wird anhand von Beispielen näher erläutert, aus denen, ebenso wie aus den Unteransprüchen, weitere vorteilhafte Einzelheiten, auch erfinderi-

scher Natur, wie auch aus der Beschreibung, entnehmbar sind. Im einzelnen zeigt:

Fig. 1 eine Prinzipdarstellung der Hardware,

Fig. 2 das Beispiel eines Regeleingabebildes,

Fig. 3 das Beispiel eines Zugehörigkeitsfunktionsbildes,

Fig. 4 das Beispiel eines Beobachtungsbildes und

Fig. 5 das Beispiel eines Prozeßführungsbildes jeweils auf dem Bildschirm des PC.

In Fig. 1 bezeichnet 1 einen PC mit dem erfindungsgemäßen Fuzzy-Projektierungssystem, den Visualisierungsbausteinen etc. Der PC 1, auf dessen Bildschirm eine Funktionstabelle 8 mit Auswahlpfeil 7 gezeigt ist, ist über eine Datenleitung, z. B. einen bidirektionalen Bus 2 mit dem Automatisierungsgerät 3, z. B. einer SPS, verbunden. Das Automatisierungsgerät 3 enthält die für das Ablaufen des Fuzzy-Standardsystems (FSS) notwendige Hard- und Software, wobei die Software in zwei Teile 4 und 6 unterteilt ist, die durch ein symbolisch dargestelltes Link 5 miteinander verbunden sind. Der Softwareteil, der durch 6 symbolisiert wird, betrifft die festen, Standardteile des Fuzzy-Programm, während der Softwareteil 4 die variablen Teile betrifft, z. B. die Fuzzy-Parametrierdaten, die Zugehörigkeitsfunktionen, -regeln, -grenzen sowie die Anzahl der Ein- und Ausgänge. Das Fuzzy-Softwaresystem besteht also im wesentlichen aus mehreren Teilen, einmal dem Entwurfs- und Darstellungsteil im PC 1 sowie dem variablen Programmteil 4 in dem Automatisierungsgerät und dem festen Programmteil 6, ebenfalls im Automatisierungsgerät. Dieser Teil 6 ist jeweils speziell der CPU und der Peripherie des jeweiligen Automatisierungsgeräts angepaßt. So sind Automatisierungsgeräte unterschiedlicher Hersteller verwendbar.

Fig. 2 zeigt das Regeleingabebild eines als Beispiel gewählten inversen Pendels, das sich besonders gut für die Simulation eignet. Das Erfahrungswissen ist in Form von Fuzzyregeln eingegeben, die die Ursache-Wirkungszusammenhänge in Wenn-Dann-Aussagen wiedergeben. Das Beispiel des inversen Pendels ist in der Fuzzy-Literatur bereits vielfach abgehandelt und kann daher als dem Fachmann bekannt vorausgesetzt werden. Fig. 2 zeigt im einzelnen das Bildschirmfenster von Fig. 1 mit der Funktionstabelle 8 in Form einer Regeltabelle. Im oberen Teil von Fig. 2 befinden sich die Bedienelemente für die Untermenüs und ein Informationsfeld mit dem Projektnamen und den eingestellten Parametern für die Kopplung. Die untere Bildhälfte wird im wesentlichen von der Regeltabelle bestimmt. Im linken Teil der Tabelle sind die Ein- und Ausgangsgrößen dargestellt, die zur Abgrenzung durch eine Linie getrennt sind. Im Beispiel werden vier Ein- und zwei Ausgangsgrößen eingesetzt. Im rechten Teil ist die eigentliche Regeltabelle angeordnet. Von den eingegebenen Fuzzyregeln kann immer nur ein Ausschnitt angezeigt werden. Eine einzelne Regel ist in einer Spalte angeordnet, wobei die Eingangsgrößen UND-verknüpft sind, und eine Regel im DANN-Teil auf mehrere Ausgänge gleichzeitig wirken kann. Die Regel Nr. 11 lautet beispielsweise: WENN der Winkel positiv ist UND die Winkelgeschwindigkeit positiv ist, DANN Moment auf negativ.

Fig. 3 zeigt das Bildschirmfenster des PC mit einer Darstellung von linguistischen Variablen und einer Eingabe von Zugehörigkeitsfunktionen. Es sind im gezeigten Beispiel sieben Zugehörigkeitsfunktionen möglich. Eine einzelne Funktion besteht immer aus vier Punkten, wobei dem ersten und dem vierten Punkt ein Wahr-

heitsgrad von Null und dem zweiten und dritten Punkt ein Wahrheitsgrad von 1 zugeordnet sind. Mit diesen Einschränkungen kann man rechteckige, dreieckige und trapezförmige Zugehörigkeitsfunktionen definieren, die für sehr viele Anwendungsfälle der Automatisierungstechnik ausreichend sind. Selbstverständlich sind auch andere Zugehörigkeitsfunktionen implementierbar. Das gewählte Beispiel gilt für das bekannte Heizungsbeispiel mit fünf Außentemperaturbereichen, das ebenfalls in der Fuzzyliteratur bereits eingehend abgehandelt worden ist.

Fig. 4 zeigt nun ein typisches Beobachtungsbild für eine Prozeßführung und Fig. 5 ein typisches Beobachtungsbild mit der Waagebalkendarstellung. Der Waagebalken zeigt die Einflüsse der einzelnen Regeln, z. B. der Regeln von Fig. 2. Wie ersichtlich ist es möglich, durch das Einfügen neuer Regeln oder durch unterschiedliche Parametrierung der bereits bestehenden Regeln die Gewichtung auf dem als Basislinie dienenden Waagebalken zu verändern, so daß die als Schneide einer Waage symbolisch dargestellte (rote) Markierung in Form eines Pfeiles sich entsprechend verschiebt. So ist eine einfache Optimierung unter Berücksichtigung der Auswirkung unterschiedlicher Parametrierungen und unterschiedlicher Regeln On-line und fortlaufend möglich. Dieser Vorgang kann auch relativ einfach selbstoptimierend ausgebildet werden. Hierzu können die Algorithmen aus dem vorgenannten Aufsatz, aber auch der Backpropagation-Algorithmus von D.E. Rumelhart eingesetzt werden. Der Aufsatz von Hayashi et al ist ebenfalls als Anlage beigelegt und als Bestandteil der Offenbarung anzusehen.

Die On-line Optimierung wird vorteilhaft durch den prinzipiellen, neuen Aufbau des Automatisierungssystems möglich, bei dem das Ablaufprogramm in der Zielhardware unveränderlich ist. Änderungen im Fuzzy-System werden in bisher unerreicht vorteilhafter Weise lediglich als Parametrierdaten in das Zielsystem übertragen. Dies geht unvergleichlich schneller als eine neue Codegenerierung. Das bedeutet, daß das Ändern, Löschen oder Zufügen von Fuzzyregeln, Ein- und Ausgängen oder Zugehörigkeitsfunktionen durch ein Übertragen von Datenstrukturen realisiert wird. Diese Konzeption ist insbesondere für kleine und mittlere Automatisierungslösungen geeignet.

Für größere Automatisierungslösungen ist es möglich, mehrere Fuzzysysteme in ein Automatisierungsgerät einzubringen, hierfür muß man nur weitere Datenbausteine installieren. Dabei wird der PC mit einer Anzeige versorgt, die anzeigt, welches Fuzzysystem zur Zeit installiert ist und arbeitet. Die Geschwindigkeiten, die ein Gerät mit dem erfindungsgemäßen Automatisierungssystem erreicht, sind überraschend hoch. Bei einer schnellen Standard-CPU für SPS-Anwendungen ergibt sich für die Gleitpunktvariante etwa eine Zeit von 5 ms, bis ein Regelbefehl generiert ist. Dies sind Zeiten, die für normale Anwendungsfälle in Anlagen mehr als ausreichend sind. Nur in absoluten Ausnahmefällen muß für zeitkritische Anwendungen auf Fuzzy-Hardwarelösungen zurückgegriffen werden.

#### Patentansprüche

1. Automatisierungssystem mit programmierbaren Automatisierungsgeräten, insbesondere speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) zur Regelung einer industriellen Anlage, und mit zumindest einer Dateneingabe-, Rechen- und Projektierungs-

einheit, z. B. einem PC (1) zur Datengenerierung für Fuzzy-Standard-Systeme (FSS), wobei dieser ein fortlaufend optimierbares Fuzzy-Entwurfsprogramm aufweist, dem Zugehörigkeitsfunktionen in parametrierter Form eingeba- 5  
 10  
 15  
 20  
 25  
 30  
 35  
 40  
 45  
 50  
 55  
 60  
 65

2. Automatisierungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das FSS-teilnahmefähige Programm des PC's (1) einen Auswertungsteil für die bearbeiteten Fuzzyregeln aufweist, wobei insbesondere die Wirksamkeit (der Wahrheitsgehalt) der einzelnen Fuzzyregeln ausgewertet wird.

3. Automatisierungssystem nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß auf dem PC-Bildschirm ein Beobachtungsbild für das Zeitverhalten und die Wirksamkeiten der einzelnen Fuzzyregeln darstellbar ist.

4. Automatisierungssystem nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Beobachtungsbild für die Wirksamkeit der Fuzzyregeln in Balkentechnik ausgebildet ist, wobei die Höhe der Balken der Wirksamkeit der einzelnen Regeln entspricht und wobei die Lage der Balken mit der Position der Zugehörigkeitsfunktionen des Ausganges übereinstimmt.

5. Automatisierungssystem nach Anspruch 2,3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Gewichtung der Wirksamkeit der Zugehörigkeitsfunktionen nach der Schwerpunktmethode erfolgt und wobei der Schwerpunkt bei Bildschirmdarstellung eine Markierung erfahren kann, insbesondere in Form eines roten Dreiecks.

6. Automatisierungssystem nach Anspruch 1, 2, 3, 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Gewichtung o. ä. der einzelnen Fuzzyregeln optimierend verändert wird, insbesondere durch einen Anlagenoperator, aber auch durch ein künstliches neuronales Netz mit Backpropagation-Algorithmus.

7. Automatisierungssystem nach Anspruch 1, 2, 3, 4, 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Fuzzyregelprogramm in bezug auf Relevanz und Vollständigkeit On-line überprüfbar und veränderbar ausgebildet ist.

8. Automatisierungssystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Datenzugang zu Fuzzy-Softwareblöcken in Automatisierungsgeräten eine gesicherte Kennung enthält, vorzugsweise mit einer Prüfsequenz.

9. Automatisierungssystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Fuzzy-Software in den Automatisierungsgeräten in einem oder mehreren Funktionsbausteinen enthalten ist, die CPU-spezifisch ausgebildet sind.

10. Automatisierungssystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es eine Menü-Fensterdarstellung mit Aufrufmöglichkeiten für einzelne Funktionen, z. B. die Fuzzyregeln und Parameter sowie zur Optimierung eine On-line-Darstellung der Wirksamkeit der Fuzzyregeln verwendet.

11. Automatisierungssystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch die Verwendung einer Fuzzyregel- und Parametereingabe- und Projektierungseinheit, die insbesondere mit Funktionstabelleneingaben, in Verbindung mit zumindest einer SPS mit festen Fuzzy-Standard-Systemen (FSS) arbeitet.

12. Automatisierungssystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es in den Automatisierungsgeräten ein Erkennungsprogramm für nicht durch das Standardprogramm ausregelbare Störungen und ein Überführungsprogramm in den sicheren Zustand der Anlage, insbesondere den Abfahrzustand, aufweist.

13. Fuzzy-Control-Automatisierungssystem mit einem PC zur Eingabe von Zugehörigkeitsfunktionen, insbesondere in parametrierter Form, und mit Automatisierungsgeräten, insbesondere SPS, wobei in den Automatisierungsgeräten Änderungen des Fuzzy-Control-Ablaufs nur durch Übernahme von geänderten Parametrierdaten bewirkt werden.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

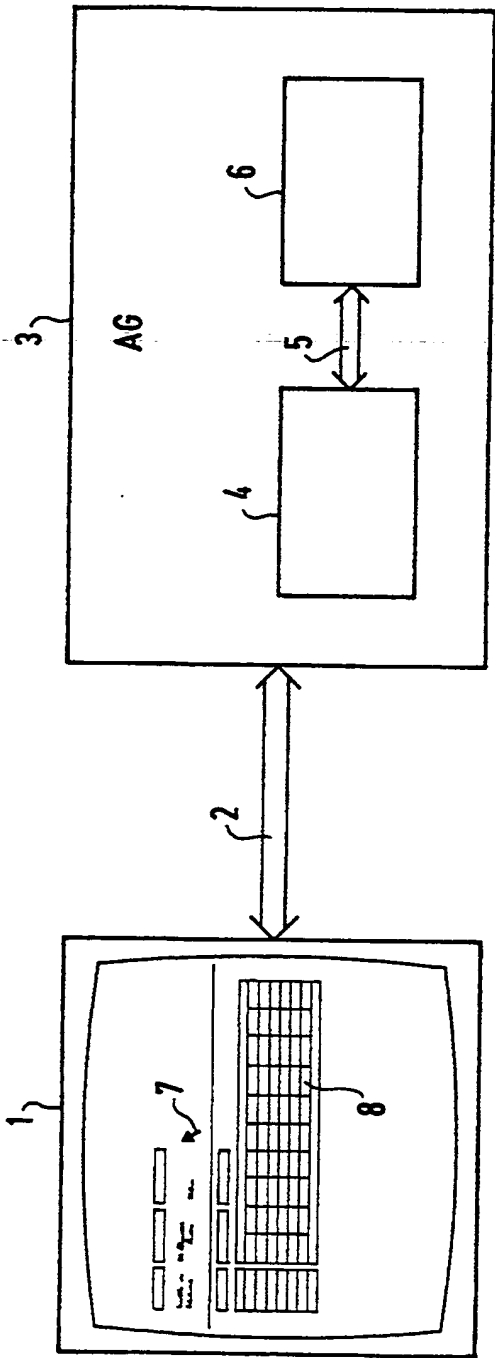


FIG 1

Datel

Übertragen

Optionen

Zufügen

Verdichten

Beobachten

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Winkel					negativ	positiv			negativ	positiv
Winkelges							negativ	positiv	negativ	positiv
Zeit		Stoer 2	Stoer 3	Stoer 4						
AG-Moment										
Moment					positiv	negativ	positiv	negativ	positiv	negativ
Stoerung	nklein	negativ	pklein	null						

FIG 2

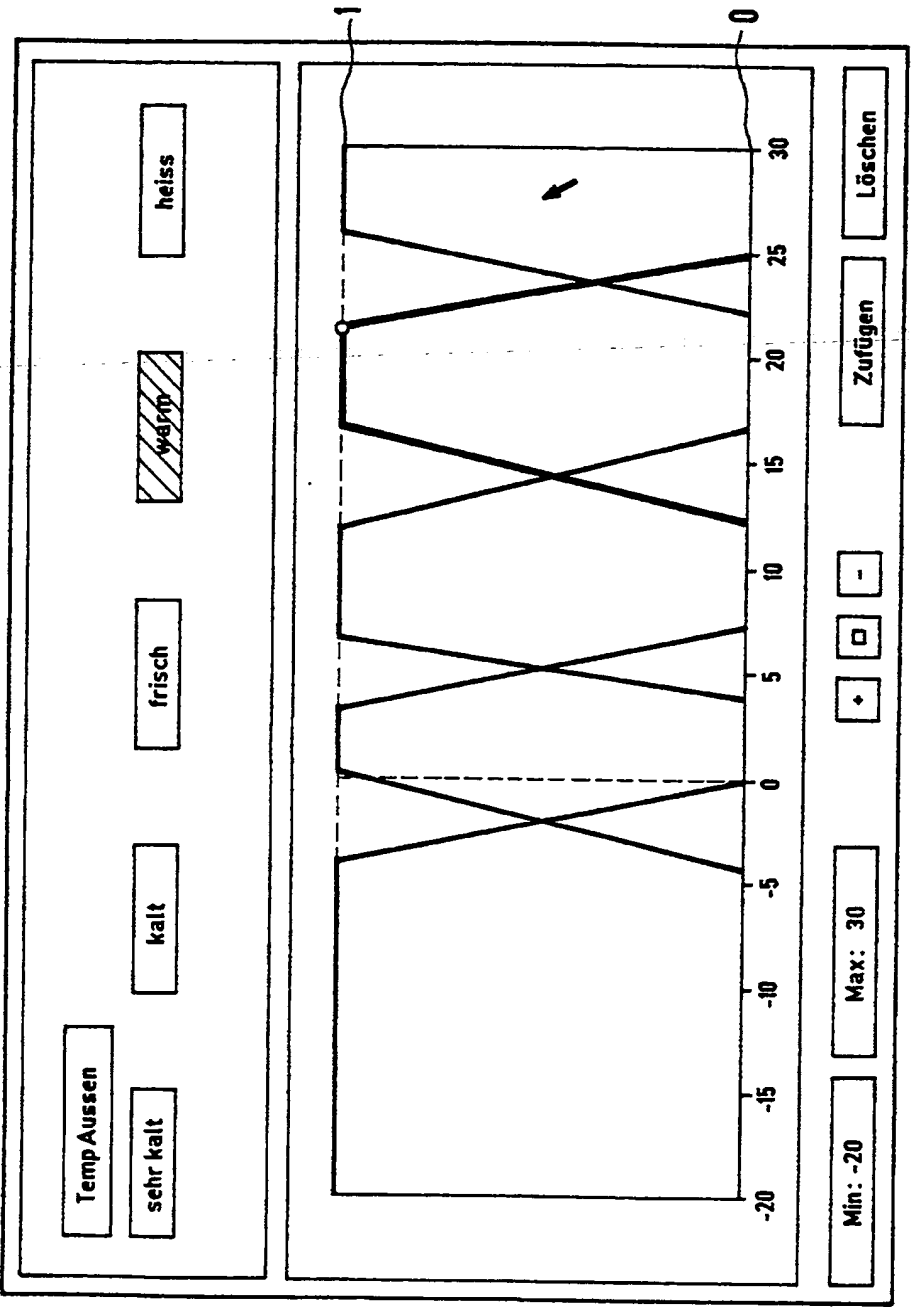
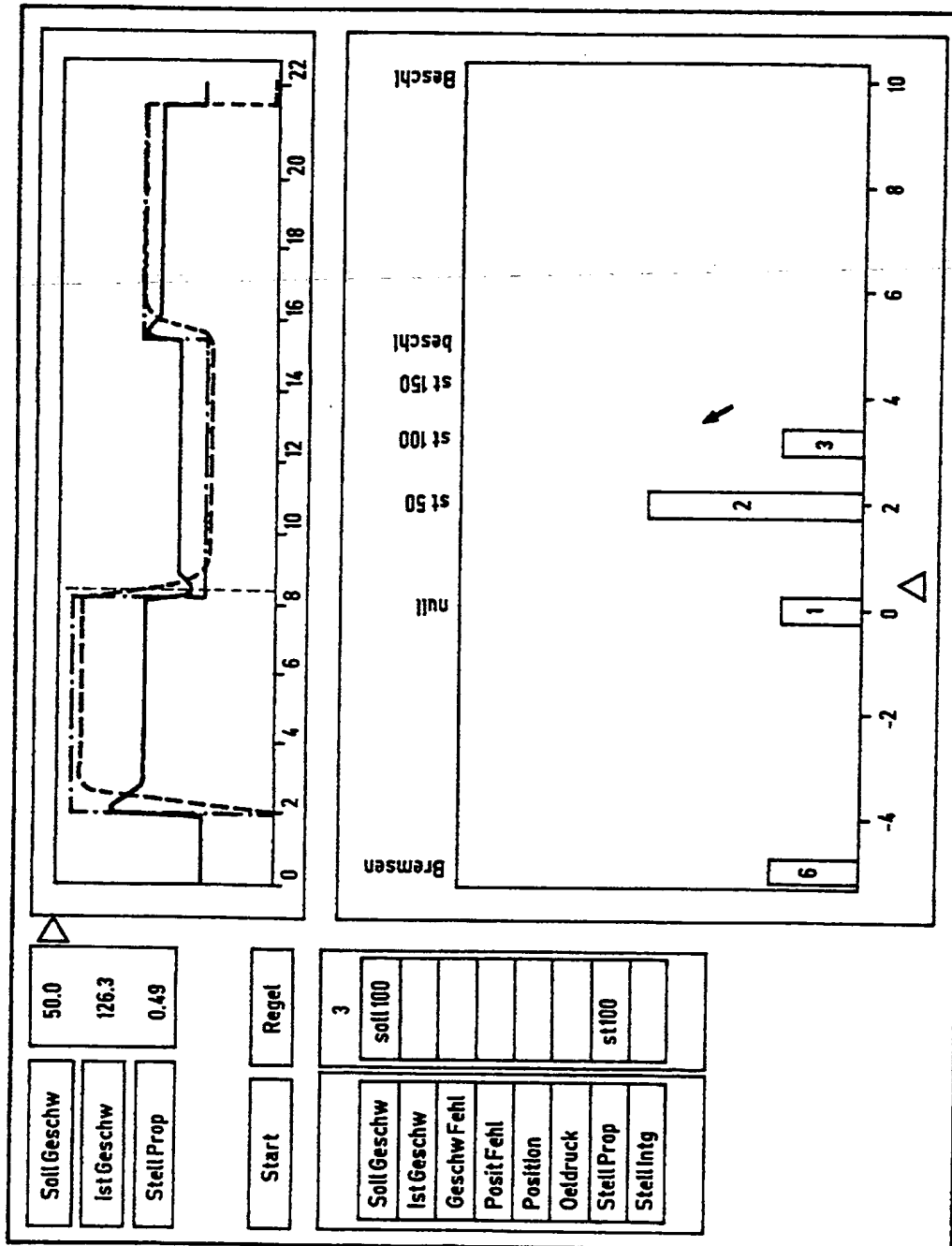


FIG 3



FIG 4



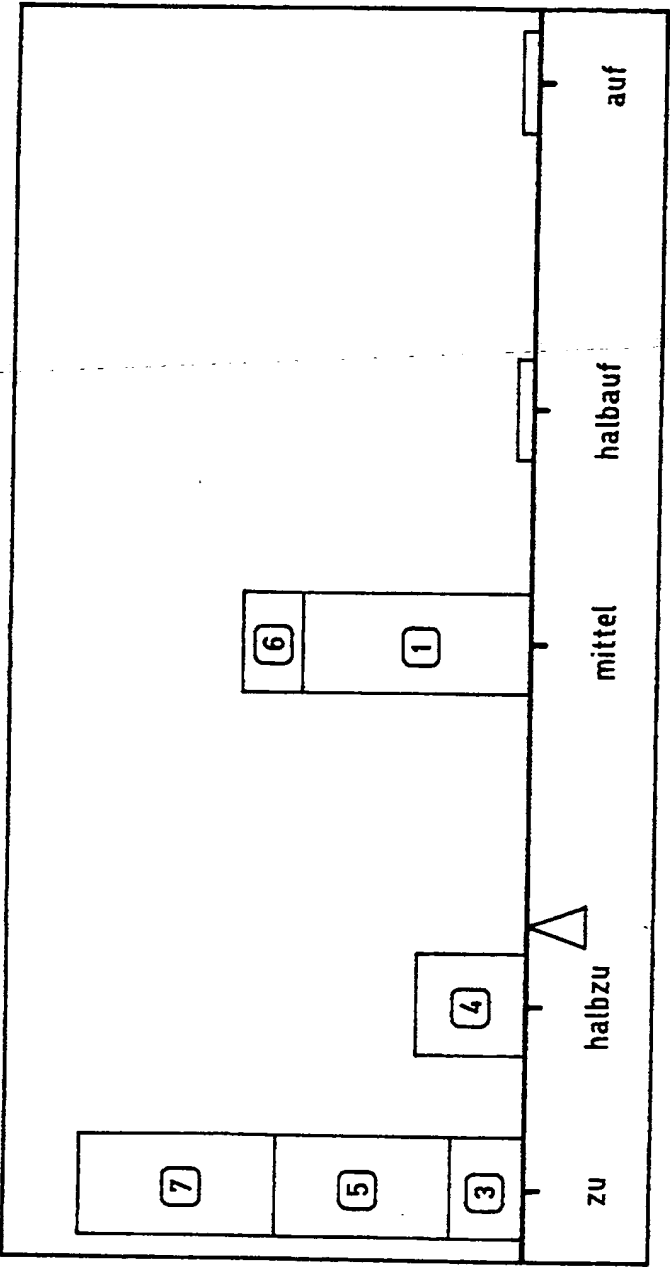


FIG 5

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**